

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra elektroenergetiky**

**Energetické rušení**  
**Electrical Power Disturbances**

**2016**

**Tomáš Drda**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroenergetiky

## Zadání bakalářské práce

Student: **Tomáš Drda**  
Studijní program: B2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika  
Téma: Energetické rušení  
Electrical Power Disturbances  
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky energetického rušení, EMC a kvality elektrické energie
2. Možnosti monitorování kvality elektrické energie
3. Ukázka vyhodnocení vybraných parametrů kvality dle ČSN EN 50160

Seznam doporučené odborné literatury:


1. Santarius P.: Elektromagnetická kompatibilita, Učební texty VŠB-TUO, Ostrava, 2007
2. Normy ČSN
3. Další literatura podle pokynu vedoucího bakalářské práce

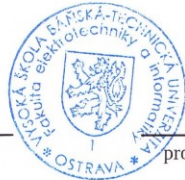
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Petr Krejčí, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2015

Datum odevzdání: 29.04.2016

  
prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
vedoucí katedry




  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

## **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 21. dubna 2016

  
.....  
podpis studenta

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Petru Krejčímu, Ph.D. za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této bakalářské práce.

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá pozorováním vybraných parametrů kvality elektrické energie na různých napěťových hladinách distribuční sítě dle normy ČSN EN 50160. V první teoretické části se zabývám popisem energetického rušení, EMC a kvalitou elektrické energie. Další část je zaměřena na možnostech monitorování kvality elektrické energie. Praktická část je zaměřena na samostatné vyhodnocení měřících míst v jedné oblasti a porovnání kvality elektrické energie dle normy ČSN EN 50160. Ke srovnání kvality elektrické energie byl vybrán parametr flickr.

## **Klíčová slova**

analýzátor; elektromagnetická kompatibilita; energetické rušení; flickr; kolísání napětí; kvalita napětí;

## **Abstract**

This thesis deals with the observation of selected quality parameters of electricity at different voltage levels of distribution network according ČSN EN 50160. In the first part I deal with the description of electromagnetic interference, EMC and power quality. Another part focuses on how to monitor power quality. The practical part is focused on evaluating individual measuring points in one area and comparing the quality of electric power according ČSN EN 50160. To compare the quality of electric energy was selected parameter flicker.

## **Key words**

analyzer; electromagnetic compatibility; electromagnetic interference; flicker; voltage fluctuation; voltage quality;

# Obsah

1	Úvod.....	- 10 -
2	Energetické rušení.....	- 11 -
2.1	Druhy rušení.....	- 11 -
2.1.1	Umělé a přirozené zdroje.....	- 11 -
2.1.2	Impulzní, spojité a kvazi - impulzní.....	- 11 -
2.1.3	Rozdělení podle tvaru a doby trvání rušivého signálu.....	- 11 -
2.1.4	Úzkopásmové a širokopásmové rušení.....	- 11 -
2.1.5	Rozdělení podle oblasti frekvenčního spektra.....	- 12 -
2.1.6	Zdroje rušení vedením nebo vyzařováním.....	- 12 -
3	Elektromagnetická kompatibilita.....	- 13 -
3.1	Elektromagnetická kompatibilita biologických systémů.....	- 13 -
3.2	Elektromagnetická kompatibilita technických systémů a zařízení.....	- 13 -
3.3	Přenosové vazby.....	- 14 -
3.3.1	Galvanická vazba.....	- 14 -
3.3.2	Kapacitní vazba.....	- 15 -
3.3.3	Induktivní vazba.....	- 15 -
3.3.4	Elektromagnetická vazba.....	- 16 -
4	Kvalita elektrické energie.....	- 17 -
4.1	Kmitočet sítě.....	- 17 -
4.2	Velikost napájecího napětí.....	- 17 -
4.3	Odchylky napájecího napětí.....	- 18 -
4.4	Rychlé změny napětí.....	- 18 -
4.4.1	Flikr.....	- 18 -
4.5	Poklesy napájecího napětí.....	- 19 -
4.6	Krátkodobá přerušení napájecího napětí.....	- 20 -
4.7	Dlouhodobá přerušení napájecího napětí.....	- 21 -
4.8	Přepětí.....	- 21 -
4.9	Nesymetrie napájecího napětí.....	- 21 -
4.10	Harmonická napětí.....	- 22 -
4.11	Meziharmonická napětí.....	- 23 -

5	Možnosti monitorování kvality elektrické energie.....	- 24 -
5.1	Model ENA300 .....	- 24 -
5.2	Model ENA400 .....	- 26 -
5.3	Model PNA571 .....	- 27 -
5.4	Model ENA520 .....	- 28 -
5.5	Třídy měřicích přístrojů .....	- 30 -
6	Ukázka vyhodnocení vybraných parametrů kvality dle ČSN EN 50 160 .....	- 31 -
6.1	Měřicí místo 1, napěťová hladina nn.....	- 31 -
6.2	Měřicí místo 2, napěťová hladina nn.....	- 32 -
6.3	Měřicí místo 3, napěťová hladina vn.....	- 34 -
6.4	Měřicí místo 4, napěťová hladina vn.....	- 35 -
6.5	Vyhodnocení měřicích míst.....	- 36 -
7	Závěr .....	- 39 -
	Použitá literatura .....	- 40 -
	Seznam obrázků .....	- 41 -



## Seznam použitých symbolů a zkratek

Symbol	Význam symbolu	Jednotky
<b>f</b>	frekvence	Hz
<b>nn</b>	nízké napětí	V
<b>vn</b>	vysoké napětí	V
<b>Uc</b>	napájecí napětí	V
<b>Un</b>	jmenovité napětí	V
<b>pst</b>	krátkodobá míra vjemu flikru	
<b>plt</b>	dlouhodobá míra vjemu flikru	
<b>A</b>	první fáze	
<b>B</b>	druhá fáze	
<b>C</b>	třetí fáze	
<b>ČSN</b>	česká technická norma	
<b>EMC</b>	electromagnetic compatibility	

# 1 Úvod

Tématem této bakalářské práce je zabývat se problematikou energetického rušení. Nejprve se tato práce zaměřuje na podrobné uvedení do problematiky energetického rušení, EMC a kvality elektrické energie.

Energetické rušení je elektromagnetický jev, který se šíří vedením v energetické rozvodné síti a může zhoršit provoz elektronických zařízení připojených do této sítě. Je to tedy nežádoucí jev, který se snažíme různými způsoby eliminovat. Zdrojem elektromagnetického rušení je elektrotechnický systém, který však můžeme pokládat i za přijímač elektromagnetického rušení. [1]

EMC je zkratkou anglických slov electromagnetic compatibility, což v překladu znamená elektromagnetická kompatibilita. V praxi to znamená, že jakýkoliv přístroj, zařízení, popřípadě systém nesmí produkovat rušení, které by přesahovalo dané tolerance a také musí vykazovat určitou úroveň odolnosti vůči rušení. [1], [2]

Kvalita elektrické energie a příčiny jejího narušení se v poslední době stávají stále více probíraným tématem, protože této problematice se věnuje mnoho firem, které poskytují služby v této oblasti. Mezi ukazatele kvality elektrické energie patří systémové veličiny frekvence a napětí. Tyto dvě veličiny mají velký podíl na vzniku rušení kvůli vzniku harmonických a kolísání napětí v síti. Vznik harmonických v síti je způsoben zejména připojováním spotřebičů u odběratelů a také připojováním obnovitelných zdrojů energie. Příčinou cyklického kolísání napětí v síti bývá kolísání světelného toku světelných zdrojů, které negativně ovlivňuje psychiku člověka. [3]

Další část bakalářské práce se bude věnovat možnostem monitorování kvality elektrické energie. K monitorování kvality elektrické energie se v dnešní době používají různé síťové analyzátory. Tyto zařízení musí splňovat velmi rozmanité požadavky a obsahovat širokou škálu různých měřících funkcí.

Poslední část bakalářské práce se bude zabývat vyhodnocením parametrů kvality dle ČSN EN 50 160. Tato norma uvádí hlavní charakteristiky napětí v místech připojení odběratelů z veřejných distribučních sítí nízkého a vysokého napětí za normálních provozních podmínek. [7]

## 2 Energetické rušení

Jak už bylo výše zmíněno, elektrotechnický systém můžeme považovat zároveň za vysílač a přijímač elektromagnetického rušení. V praxi vyčleňujeme skupinu, u které vysoce převažuje proces generování rušivých signálů nad jejich příjmem a nazýváme je interferenčními zdroji. Interferenční zdroj se zabývá procesem, kdy zdroj rušení generuje signál, který se přenáší po přenosových vazbách na rušený systém. Problematika energetického rušení se tedy zabývá identifikací zdrojů rušení, parazitních přenosových cest, popisem a měřením rušivých signálů. Počet zařízení způsobujících rušení v současné době stále roste. Mezi nejvýznamnějším zdrojem rušení patří hlavně průmyslové zdroje, které ovlivňují tvar síťového napětí. [1], [4], [5]

### 2.1 Druhy rušení

Rušivé signály můžeme dělit podle nejrůznějších hledisek, např. podle způsobu šíření, tvaru, účinků na užitečný signál apod., [5]

#### 2.1.1 Umělé a přirozené zdroje

Umělé interferenční zdroje jsou vytvořeny lidskou technickou činností. Proto nás musí zajímat z důvodu zamezení jejich rušení. U přírodních zdrojů rušení nelze zabránit jejich vzniku, a proto s nimi musíme nutně počítat. [4]

#### 2.1.2 Impulzní, spojitě a kvazi - impulzní

Zdroje rušení můžeme dělit podle časového průběhu rušivého signálu. Impulzní rušení má časovou posloupnost jednotlivých impulzů nebo přechodných jevů. Opakem je spojitě rušení působící kontinuálně (nepřetržitě) na rušení zařízení. Kombinování obou typů rušení je tzv. kvazi - impulzní rušení. [4]

#### 2.1.3 Rozdělení podle tvaru a doby trvání rušivého signálu

*Šum* - Je to signál ovlivňující tvar užitečného signálu. Šum je tedy rušivý signál, který má obvykle periodický charakter. Má význam náhodného signálu provázejícího činnost elektrických součástek a obvodů. Nejčastějšími zdroji šumu jsou elektrické motory, svářečky atd.

*Impulzy* - Jsou to rušivé signály impulzního charakteru s velkým poměrem velikosti impulzů k době trvání. Nastávají tzv. napěťové špičky s kladnou nebo zápornou polaritou. Tento druh rušení je způsoben převážně spínacími prvky (tyristory, tranzistory, relé, stykače,...)

*Přechodné jevy* - Jsou to jednorázové náhodné rušivé signály trvající od několika ms do několika sekund. Vyvolává je např. zapínání a vypínání spotřebičů velkých výkonů. [5]

#### 2.1.4 Úzkopásmové a širokopásmové rušení

Pro tyto typy rušení je charakteristický časový průběh a šířka jeho kmitočtového spektra, což jsou údaje důležité pro volbu filtračního prvku. Úzkopásmové rušení se vyskytuje v

signálech rozhlasových nebo televizních vysílačů. Naopak širokopásmové rušení má většina průmyslových rušivých signálů a všechna přírodní rušení. [4]

### 2.1.5 Rozdělení podle oblasti frekvenčního spektra

Nízkofrekvenční rušení dělíme na:

- Energetické rušení
- Akustické rušení

*Nízkofrekvenční energetické rušení* - Působí na napájecí soustavu v pásmu od nuly do 2kHz. Energetické rušení působí na tvar síťového napájecího napětí zkreslením a deformací, což může ovlivnit všechna zařízení připojená do stejné části sítě. Do těchto zařízení zařazujeme osvětlení, sdělovací prostředky aj. Zdrojem tohoto rušení je obecně každá nelineární zátěž napájecí sítě, která způsobuje deformaci odebíraného proudu.

*Nízkofrekvenční akustické rušení* - Akustické rušení působí v pásmu do 10 kHz, kde negativně ovlivňuje funkci přenosových informačních systémů (telefonní, rozhlasové a televizní přenosy, měřicí a řídicí zařízení apod.). Tento druh rušení je generován všemi energetickými zdroji, zařízeními pro číslcový přenos dat, radary apod.

Vysokofrekvenční rušení

Vysokofrekvenční (rádiové) rušení leží v pásmu od 10 kHz do 400 GHz. Jako zdroj rádiového rušení lze zařadit prakticky všechny existující interferenční zdroje, protože jejich rušivé signály sahají skoro vždy až do těchto kmitočtových oblastí. [4], [5]

### 2.1.6 Zdroje rušení vedením nebo vyzařováním

Z každého interferenčního zdroje se šíří rušivý signál jak vyzařováním do prostoru, tak i po napájecích či sdělovacích vedeních. Podle zdroje rušení převládá obvykle jen jeden z těchto způsobů šíření, a proto se interferenční zdroje někdy rozdělují na zdroje rušení šířených vedením a na zdroje rušení šířených vyzařováním. [4]

### 3 Elektromagnetická kompatibilita

Elektromagnetická kompatibilita technických systémů a zařízení zkoumá vzájemné působení různých systémů a snaží se jej optimalizovat. Každé zařízení, po kterém vyžadujeme, aby správně a spolehlivě fungovalo v reálném provozu, musí být elektromagneticky kompatibilní s okolním prostředím, ve kterém bude provozováno. Elektromagnetické prostředí je způsobeno převážně elektromagnetickými poli jiných zdrojů rušení. Problematiku EMC můžeme rozdělit podle mnoha ukazatelů. Obecně EMC můžeme rozdělit do dvou hlavních oblastí. EMC biologických systémů a EMC technických systémů a zařízení. [1], [5]

#### 3.1 Elektromagnetická kompatibilita biologických systémů

V této části se EMC zabývá „elektromagnetickým pozadím“ životního prostředí a dovolenými úrovněmi elektromagnetických signálů, které jsou rušivé nebo užitečné. To vše souvisí s jejich vlivy na živý organismus a přitom žádná existující studie nám nepřinesla jednoznačné výsledky. Může za to i fakt, že biologické účinky elektromagnetického pole závisí na mnoha faktorech: na charakteru magnetického pole, době, po kterou působí na organismus a na vlastnostech daného organismu. Tato problematika není řešena jenom pro pracovníky, kteří jsou vystaveni elektromagnetickému poli na svém pracovišti (projektanti vysílačů apod.). S přístroji vyzařující elektromagnetické pole přicházíme běžně do styku v domácnosti, kde jsme jimi obklopeni. [4]

#### 3.2 Elektromagnetická kompatibilita technických systémů a zařízení

Další částí pro dělení elektromagnetické kompatibility je EMC technických systémů a zařízení. Zkoumá vzájemné působení technických prostředků, elektronických a elektrotechnických přístrojů a zařízení. Při zkoumání EMC pro daný systém nebo zařízení vycházíme z tzv. základního řetězce EMC.



Obrázek 1: Základní řetězec EMC

V oblasti zdroje elektromagnetického rušení zkoumáme vznik rušení, záleží nám jaký má charakter a intenzitu. Jsou to přírodní (přírozené) zdroje rušivých signálů (Slunce, elektrické

výboje v atmosféře atd.) i umělé zdroje rušení (vytvořené lidskou činností) a patří mezi ně elektromotory, spínače, relé, přenosové soustavy elektrické energie atd.

V další oblasti, což je oblast přenosových cest se zabýváme elektromagnetickým přenosovým prostředím a vazbami. Řešíme zde přenos elektromagnetického rušení od zdroje k rušenému objektu (přenos vzduchem, napájecími kabely atd.).

V poslední oblasti je problematika objektů rušení (měřicí přístroje, počítače atd.). Řeší se zde klasifikace typů a podrobné specifikace rušivých účinků. V úvahu musíme brát konstrukci a technologické parametry zařízení. Z příslušných parametrů určíme pro dané zařízení elektromagnetickou odolnost.

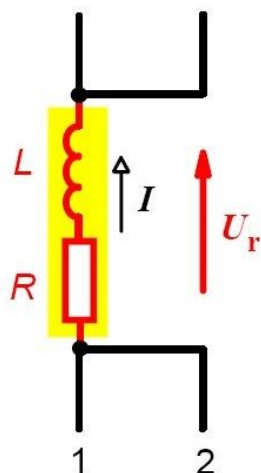
Ve skutečnosti je tento řetězec daleko složitější, protože každý přístroj nebo systém může být rušen více zdroji, nebo mohou být zároveň vysílači a přijímači rušení. Kvůli vzájemnému působení více systémů, všestranně se ovlivňujících, musíme vybrat jeden systém, který považujeme za ovlivňující (zdroj) a ostatní systémy jako ovlivňované (přijímače). Po té zvolený systém řešíme jako ovlivňovaný. Tímto způsobem zjistíme, jak ovlivňuje elektromagnetické prostředí ostatní systémy. Potom zhodnotíme chování systému podle toho, jestli byla jeho funkce omezena z důvodu zhoršení kvality systémových parametrů, nebo došlo k úplnému omezení funkce, nebo dokonce k havarijnímu stavu. [4]

### 3.3 Přenosové vazby

Přenos interferenčních signálů z jejich zdroje do přijímače závisí na elektromagnetickém prostředí, což znamená na druhu a způsobu vazby mezi zdrojem a přijímačem rušení. Tyto vazby můžeme dělit podle mnoha hledisek. Podle technické realizace může být přenosová vazba tvořena vzdušným prostorem, kmitočtovými filtry, signálovými či napájecími kabely, elektroenergetickými soustavami atd. Z pohledu fyzikálního principu, který je pro potlačení parazitních vazeb nejdůležitější, rozlišujeme přenosovou vazbu galvanickou, kapacitní, induktivní a vazbu elektromagnetickým polem. [1], [4]

#### 3.3.1 Galvanická vazba

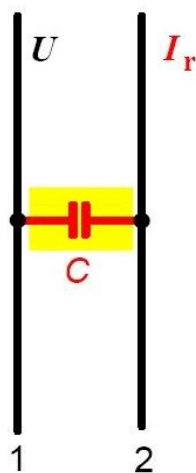
U této vazby se jedná o propojení elektrotechnických zařízení, kromě galvanického propojení s jinými vodiči může být způsobeno např. zkratem nebo přeskokem. Existuje minimálně jeden nebo, v případě napájecí sítě, více společných vodičů. Tímto způsobem se zařízení vzájemně ovlivňují. Mezi důležitými parametry patří velikost pracovních kmitočtů a délka společných vodičů. Součástky použité v zařízeních samozřejmě nejsou ideální, a proto mají určité parazitní kapacity, indukčnosti i reálné odpory. Při analýze vodiče s proudy s vyššími kmitočty je musíme uvažovat jako obvody s rozloženými parametry. V případě nízkých kmitočtů řešíme obvody jako soustředěné parametry. [6]



Obrázek 2: Galvanická vazba

### 3.3.2 Kapacitní vazba

Tento druh vazby vzniká při napěťovém rozdílu zdroje a přijímače rušení vlivem parazitní kapacity, mezi nimiž proud protéká. Je tedy způsoben existencí parazitních kapacit mezi vodiči nebo jednotlivými částmi obvodů. Je charakteristická pro uzly galvanicky oddělených elektrických obvodů, mezi kterými vzájemně působí například přes společný vodič. Mezi každými dvěma vodiči s různým potenciálem modelujeme elektrické pole pomocí parazitní kapacity. Napěťový rozdíl nastává při souběžném vedení silové kabeláže, datových kabelů a konstrukcí zařízení. Kapacitní vazbu lze částečně eliminovat použitím stíněné kabeláže. [4], [6]

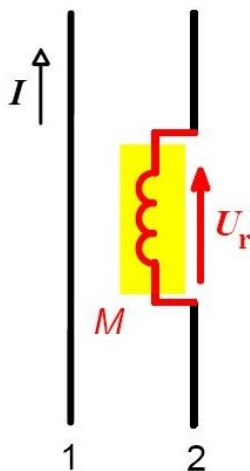


Obrázek 3: Kapacitní vazba

### 3.3.3 Induktivní vazba

Tato vazba je typická pro dvě galvanicky oddělené smyčky elektrického obvodu, kdy musí alespoň jednou protékat proud. Tento proud vytváří ve svém okolí magnetické pole. Pokud

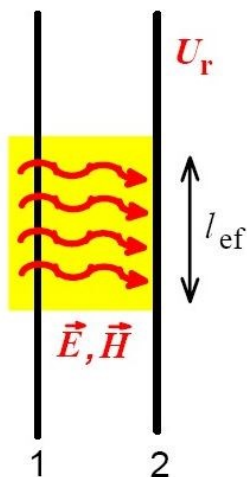
budeme zkoumat indukčnosti systémů, tak musíme brát v úvahu, že nemůžeme počítat indukčnost pasivních prvků do celkové působící indukčnosti, které zkoumaný systém obsahuje. [4], [6]



Obrázek 4: Induktivní vazba

### 3.3.4 Elektromagnetická vazba

U této vazby je charakteristické galvanické oddělení elektrických obvodů, kde dochází k výměně energie formou vyzařovaného a absorbovaného výkonu. K výměně energie dochází prostřednictvím vzdušného prostoru. S touto vazbou se setkáme u rušení radiových přijímačů, do nichž rušení vstupuje pomocí jejich antén. Rušivé napětí indukované rušivým signálem se sčítá s napětím indukovaným užitečným signálem. Zabránit této vazbě můžeme použitím vhodného krytu, který umístíme mezi zdroj a přijímač rušení. [4], [6]



Obrázek 5: Elektromagnetická vazba



## 4 Kvalita elektrické energie

Na elektrickou energii vyráběnou v elektrárnách jsou kladeny určité nároky. Tato vyrobená elektrická energie se dostane k odběratelům pomocí přenosových a distribučních soustav. Při tomto procesu působí na kvalitu elektrické energie negativní vlivy jako je časté spínání větších spotřebičů, působení blesků či ochran atd.

Odběratel požaduje elektrickou energii s požadovaným množstvím a kvalitou. Mezi veličiny, které souvisí s kvalitou elektrické energie, patří napětí a frekvence. Hlavními důvody snížení kvality elektrické energie je vznik harmonických a kolísání napětí v síti. [3]

### 4.1 Kmitočet sítě

V sítích v ČR je jmenovitý kmitočet napájecího napětí 50 Hz. Velikost způsobených odchylek od jmenovité hodnoty kmitočtu v napájecí síti je dána vzájemným působením generátorů a zatížením v síti. Vzniklé odchylky jsou menší s rostoucím poměrem mezi výkonem generátorů a kolísáním zatížení. Z toho vyplývá, že k udržení konstantní frekvence potřebujeme dostatečný výkon výroby, který se přizpůsobuje odběru v reálném čase, protože je kmitočet celosystémový parametr elektrizační soustavy.

Rozlišujeme dva systémy připojení:

- systém se synchronním připojením k propojenému systému

50 Hz  $\pm 1$  % (tj. 49,5 Hz ... 50,5 Hz) během 99,5 % roku, 50 Hz + 4 %/- 6 % (tj. 47 Hz ... 52 Hz) po 100 % času.

- systém bez synchronního připojení k propojenému systému (tzv. ostrovní napájení)

50 Hz  $\pm 2$  % (tj. 49 Hz ... 51 Hz) během 95 % týdne, 50 Hz  $\pm 15$  % (tj. 42,5 Hz ... 57,5 Hz) po 100 % času. [7], [2]

### 4.2 Velikost napájecího napětí

Velikost napájecího napětí musí odpovídat tzv. dohodnutému napětí ( $U_c$  – dohodnuté napětí mezi dodavatelem a odběratelem v předávacím místě, které v soustavách nízkého napětí odpovídá napětí jmenovitému. [7])

Normalizované jmenovité napětí  $U_n$  pro soustavy veřejné sítě nízkého napětí je:

Pro čtyřvodičové trojfázové soustavy

- jmenovité napětí je 230V mezi fázovým a středním vodičem (fázové napětí)

Pro třívodičové trojfázové soustavy

- jmenovité napětí je 400V mezi fázovými vodiči (sdružené napětí)

### 4.3 Odchylky napájecího napětí

Odchylka napájecího napětí je nárůst či pokles napětí, která je způsobená proměnlivostí celkového zatížení distribuční sítě nebo její části a je charakterizována denními, týdenními a sezónními cykly. Toto je způsobené nezávislým zapínáním a vypínáním mnoha spotřebičů, mezi které patří například obloukové pece, bojlerů či kompenzační kondenzátory. Odchylkám se dá předcházet zvětšením zkratového výkonu, omezením současného chodu rušících zařízení, standardní či sériovou kompenzací nebo připojením do sítě s dostatečným zkratovým výkonem.

V sítích nízkého napětí za normálních provozních podmínek, s vyloučením přerušení napájení, musí být během každého týdne 95 % průměrných efektivních hodnot napájecího napětí v měřicích intervalech 10 minut v rozsahu  $U_n \pm 10\%$ . [7], [8]

### 4.4 Rychlé změny napětí

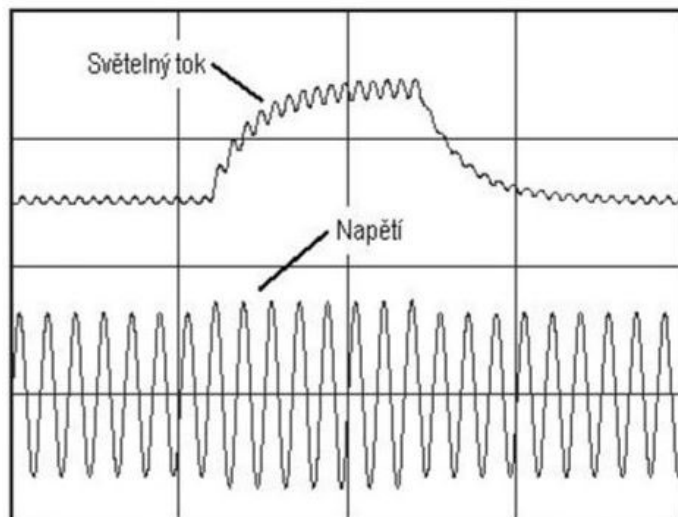
Snížením efektivní hodnoty napětí mezi dvěma ustálenými, po sobě následujícími stavy dostaneme rychlou změnu napětí. Obvykle jsou způsobeny změnami zatížení nebo spínáním v síti. Změny nepřesahují 5% jmenovitého nízkého napětí za normálních provozních podmínek. Mohou nastat i vyšší změny například na koncích dlouhých vedení, kde se vyskytnou až 10% úbytky jmenovitého nízkého napětí, tzn. že 10% jmenovitého napětí je krajní hodnota pro změnu napětí, v případě, že nastane snížení napětí pod 90% napětí jmenovitého, jedná se o pokles napětí. V sítích vn je rozsah užší (4-6%), z důvodů přísnějších omezení pro připojení zatížení než u sítí nízkého napětí. [3], [7]

#### 4.4.1 Flikr

Elektrické světelné zdroje (např. žárovka), zapojené k veřejné distribuční síti vyžadují pro svou správnou funkci konstantní napětí. Vlivem úbytku napětí, způsobeného proudem odebíraným spotřebičem (při respektování fázového posunu) tekoucím přes odpor a reaktanci vedení je napětí na spotřebiči menší než napájecí napětí. Změny napětí závisí na změnách činného a jalového výkonu. V případě konstantního zatížení je změna činného a jalového výkonu nulová a napětí se s časem nemění. Odběratelé s měnícím se výkonem způsobují kolísání úbytků napětí. Jev zvaný flikr způsobuje kolísání napětí, což jsou rychlé periodické změny napětí, kde následně dochází k časové změně světelného toku, který vyvolává vliv na zrakový vjem.

Spotřebiče a provozní stavy způsobující flikr v napájecí síti:

- spínání velké zátěže
- rozběh velkých motorů (obzvlášť když se periodicky opakuje)
- proměnlivá zátěž (řízený ohřev s velkým výkonem)
- svářečky, elektrické obloukové pece



Obrázek 6: Změna světelného toku způsobená změnou napětí

Změřit flickr je obtížné, používá se metoda měření flickru, která vychází z modelu simulující řetězec: „napětíová změna – světelný zdroj – oko – proces vnímání v lidském mozku“. Amplituda a frekvence napětíové změny ovlivňuje rušivý vliv flickru, přičemž člověk je nejcitlivější na změny napětí o frekvenci 8,8Hz. Rušivé působení flickru se určuje pomocí flickrmetru.

Důležitost flickru popisujeme dvěma parametry:

- krátkodobá míra flickru Pst (měření po 10 minutách)
- dlouhodobá míra flickru Plt (měření po 120 minutách)

Pro popis napájecího napětí se považuje za důležitější dlouhodobá míra flickru. Podle normy ČSN EN 50160 musí být za normálních provozních podmínek po 95% času, v libovolném týdenním období, dlouhodobá míra vjemu flickru  $Plt < 1$ . Dlouhodobou míru flickru získáme z dvou hodinového intervalu vypočteného z dvanácti hodnot krátkodobé míry flickru. [3], [7]

#### 4.5 Poklesy napájecího napětí

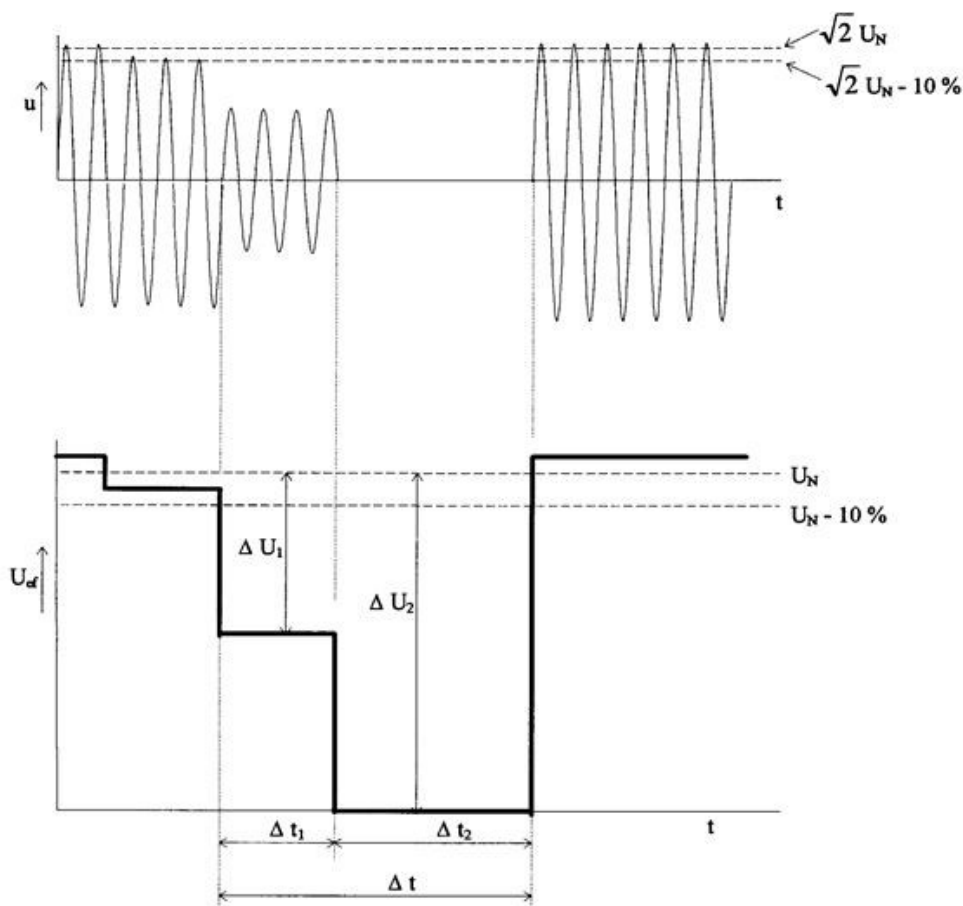
Krátkodobým poklesem napájecího napětí rozumíme takový pokles napájecího napětí, po kterém je napětí znovu obnoveno během krátkého časového intervalu. Pokles napájecího napětí je definován jako neočekávané snížení napájecího napětí pod hodnotu 90% jmenovitého napětí a následné vrácení na větší hodnotu, než 90% jmenovité efektivní hodnoty napětí během doby 10ms až 60s. Hloubka krátkodobého poklesu napájecího napětí je rozdíl mezi minimální efektivní hodnotou v průběhu krátkodobého poklesu napájecího napětí a dohodnutým napětím. O krátkodobé poklesy napájecího napětí se nejedná, pokud změny napětí nesnižují napájecí napětí na hodnotu menší, než je 90 % dohodnutého napětí, v tom případě se jedná o odchylky napájecího napětí. Příčinami krátkodobých poklesů napájecího napětí jsou způsobeny poruchami a spínáním v distribučních sítích nebo například elektroinstalacích odběratelů.

Vzhledem k rozsahu sítí jsou to nepředvídatelné jevy s nepravidelnou četností výskytu. Během roku můžeme očekávat počet poklesů od několika desítek až do jednoho tisíce. Doba trvání většiny poklesů je kratší než 1 sekunda a hloubka poklesu je menší než 60%. [7], [8]

#### 4.6 Krátkodobá přerušení napájecího napětí

Krátkodobé přerušení napětí nastává po vypnutí zkratu vypínačem. Konec přerušení nastává při připojení zdroje opět k síti, který se většinou uskutečňuje automatikou opětovného zapnutí (OZ). Při úspěšném opětovném zapnutí je zkrat odstraněn a odběratelé jsou napájeni daným vedením, ve kterém však dochází k poklesu napětí. Mezi vypnutím a opětovným zapnutím dochází k časovému zpoždění, které je často označováno jako tzv. přestávka OZ. Doba trvání zapnutí může být od jejího minima (doba zapůsobení ochrany a sepnutí vypínače) až do jedné minuty. V případě, že se nepodaří opětovné zapnutí, zkrat stále přetrvává. Ve vedení pak nastává další pokles a vypínač zkrat znovu vypne.

Krátkodobá přerušení napětí jsou označována za přerušení s dobou trvání kratší než 3 minuty. Přibližně 70% krátkodobých přerušení není větší než 1 sekunda. Roční výskyt krátkodobých přerušení za normálních provozních podmínek se vyskytuje od několika desítek až do několika stovek. [7], [8]



Obrázek 7: Pokles a přerušení napětí

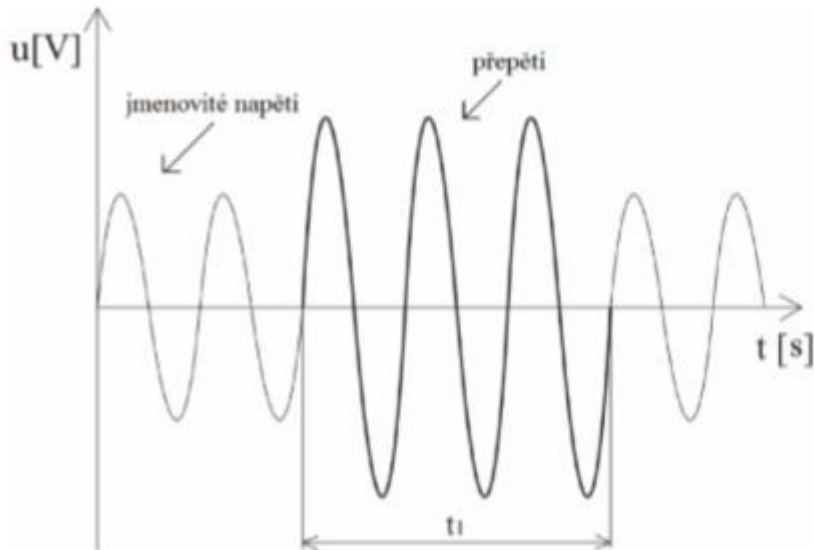
#### 4.7 Dlouhodobá přerušení napájecího napětí

Jsou to poruchová přerušení napájecího napětí, která jsou obvykle způsobena vnějšími událostmi nebo vlivy, kterým odběratel nemůže předcházet. Jsou tak to označována poruchová přerušení, kde přerušení trvá déle než tři minuty. Z důvodů nepředvídatelných důsledků povětrnostních vlivů nebo zásahu třetích osob nemůžeme zjistit četnost a dobu trvání dlouhodobých přerušení. Roční četnost poruchových přerušení napětí může být menší než 10, ale v závislosti na oblasti může dosahovat až hodnot okolo 50.

V případě dlouhodobého přerušení je tedy napájení přerušeno, úsek vedení bude odpojen a izolován z důvodu kontroly a odstranění poruchy. Přerušení, která jsou předem dohodnutá, se do výsledné četnosti nezahrnují. [2], [7], [8]

#### 4.8 Přepětí

Napětí vyšší než jmenovité napětí je přepětí. V elektrizační soustavě vzniká přepětí v důsledku provozních změn, které jsou provázené přechodnými ději (např. tzv. spínací přepětí), v důsledku rezonance nebo vnějších příčin jako například atmosférická přepětí. Elektrická zařízení bývají konstruována tak, aby vydržela po určitou dobu danou úroveň přepětí. Zařízení je nutno chránit proti přepětí, které by ho mohlo poškodit, proto je nutné ho chránit vhodnou ochranou (ochranná jiskřiště, bleskosvody, zemnicí lana, svodiče přepětí). Zařízení, které zamezuje nebo omezuje vznik přepětí a zneškodňuje jeho účinky, je přepětěová ochrana, která působí, když napětí v elektrizační soustavě převyšuje předem dané hodnoty. [7]



Obrázek 8: Dočasné přepětí s dobou trvání  $t$

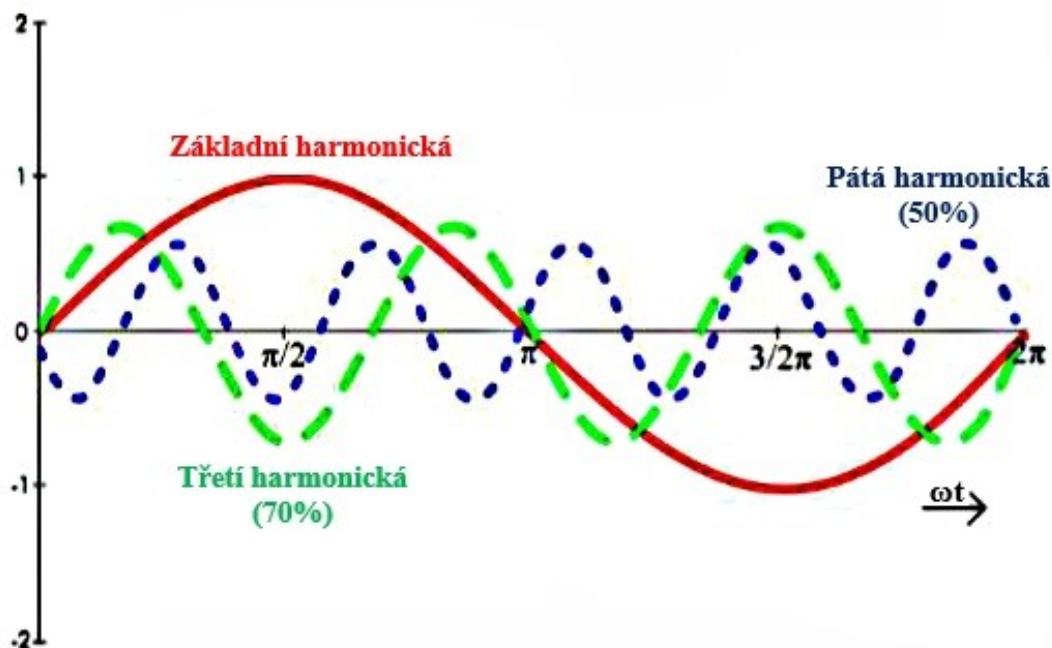
#### 4.9 Nesymetrie napájecího napětí

Nesymetrie napájecího napětí vzniká v trojfázové síti, pokud nejsou stejné velikosti fázových napětí nebo úhly, které jsou mezi fázory napětí. Zdrojem nesymetrie napájecího napětí

bývá většinou nerovnoměrné zatížení na všech třech fázích v trojfázové síti a to z důvodu nesymetrického jednofázového zatížení (jednofázové elektrické pece, napájecí stanice střídavé trakce). Hlavním negativním účinkem nesymetrie napájecího napětí bývá zvýšení oteplení daného zařízení a tím pádem snížení životnosti tohoto zařízení. Transformátory a vedení nejsou zatíženy stejným jmenovitým výkonem z důvodu dvojnásobného proudového zatížení daného zařízení jednofázovým odběrem oproti symetrické zátěži při stejném činném výkonu, následkem toho se výrazně snižuje jejich využití v provozu. Nesymetrii napájecího napětí můžeme omezit rozložením zátěží na dílčí fáze. [8]

### 4.10 Harmonická napětí

Vyšší harmonická napětí jsou taková napětí, která nemají čistě sinusový průběh, který má základní frekvenci 50 Hz, ale obsahují také i násobky této základní frekvence. Mezi zdroje vyšších harmonických, patří zařízení, která nemají sinusový průběh. Mezi taková zařízení řadíme například pohony s frekvenčními měniči, usměrňovače, obloukové pece, zářivky, indukčnosti nebo malé transformátory. Nejčastějšími zdroji vyšších harmonických napětí jsou převážně alternátory a asynchronní motory, mezi zdroje vyšších harmonických proudů řadíme zářivky, domácí spotřebiče, obloukové pece, usměrňovače a měniče nebo transformátor. Vyšší harmonické způsobují především přídavné ztráty v síti a s tím související zhoršení účinnosti přenosu elektrické energie a omezené využití daného zařízení. Mezi další negativní účinky vyšších harmonických řadíme chyby při měření elektrické energie či chybné funkce elektrických ochranných zařízení. Pokud dojde ke zvýšení velikosti průchozího proudu, často dochází k tepelnému přetěžování daného zařízení a následkem toho i ke zkrácení doby životnosti transformátorů, motorů a kondenzátorů. Vyšší harmonické též ruší komunikační zařízení. Omezit harmonické zkreslení napětí můžeme vhodným připojením a projektu rozvodných sítí, použitím vhodného zapojení vinutí napájecího transformátoru nebo pasivní a aktivní filtry či jejich kombinací. Aktivní filtr odděluje harmonické složky zdroje a zátěže a také odstraňuje nebezpečí rezonance. [8]



Obrázek 9: Harmonická napětí

#### 4.11 Meziharmonická napětí

Meziharmonické jsou sinusové průběhy napětí a proudu nemající frekvenci, která by byla celočíselným násobkem frekvence sítě, která má hodnotu 50 Hz. Mezi zdroje meziharmonických řadíme:

- zátěže s hořením oblouku
- elektrické pohony s proměnným zatížením
- HDO

Při běžných provozních podmínkách musí být po dobu jednoho týdne 95% průměrných efektivních hodnot meziharmonických napětí menší než 0,2% napětí jmenovitého.

Jeden z příkladů jak se vyvarovat meziharmonických je vyvarovat se při provozu zařízení kritickým otáčkám motoru, kdy převážně vznikají poruchy. [7], [8]

## 5 Možnosti monitorování kvality elektrické energie

Pro účely monitorování kvality elektrické energie se v dnešní době používají různé síťové analyzátory. Jsou to kompaktní, jednoduché a zároveň levné přístroje, pro monitorování a analýzu kvality elektrické energie, které využívají moderní softwarové a hardwarové technologie.

Já se budu věnovat přístrojům firmy Elcom, a.s., které kromě plnění požadavků normy ČSN EN 61000-4-30 na třídu vykonávání měření A a jiných požadavků mezinárodních norem i požadavky na vyhodnocování podle závazných národních dokumentů platných pouze v ČR, jako jsou např. pravidla provozování distribučních soustav (PPDS), příloha 5, a podniková norma PNE 33 3430-7. Tyto dokumenty rozšiřují některé požadavky mezinárodních standardů na analyzátory kvality elektrické energie a přitom bývají často ostatními výrobci opomíjeny.

Přenosné analyzátory kvality elektrické energie jsou určeny pro časté používání na různých místech distribuční soustavy na všech napěťových hladinách. Mají velký počet rozsahů na napěťových a proudových vstupech. Proudů jsou měřeny proudovými kleštěmi v klasickém provedení s magnetickým obvodem nebo prostřednictvím Rogowského cívky.

Pevně instalované analyzátory sítí neboli stacionární analyzátory jsou určeny pro trvalé monitorování kvality elektrické energie např. v rozvodnách mezi předávací a distribuční soustavou. Stacionární analyzátory nedisponují velkým počtem rozsahů na napěťových a proudových vstupech a proud obvykle není měřen proudovými kleštěmi na rozdíl od přenosných analyzátorů. Konstrukce je přizpůsobena montáži do rozvaděče. [9], [10]

### 5.1 Model ENA300

Model ENA300 byl speciálně vyvinut jako cenově přijatelné řešení do školních a univerzitních laboratoří. Tento model se skládá z programovatelného modulu úpravy signálu (pro 4 napětí a 4 proudy) a 16-bitového A/D převodníku s USB rozhraním. Musí být připojen přes USB rozhraní k PC s operačním systémem Windows XP nebo Windows Vista na kterém je spuštěn firmware analyzátoru, protože nemá vestavěnou procesorovou jednotku. Tento model poskytuje stejnou funkčnost a přesnost měření jako jakýkoliv jiný model ENA, protože používá stejný firmware, jako celá série analyzátorů řady ENA.

Analýzátor ENA300 vyhovuje požadavkům normy ČSN EN 61000-4-30 pro přístroj třídy A. [9]





Obrázek 10: Model ENA300

Tabulka 1: Technické parametry

Všeobecné parametry	
Intervaly ukládání	k*0,2 s/ 3 s/ k*1 min/ 10 min/ 15 min/ 2 h
Pracovní teplota	-25 až +50 °C
Skladování	-30 až +80 °C
Rozměry	66 x 308 x 257 mm (v x š x h)
Hmotnost	1,2 kg
Napěťové vstupy	
Počet vstupů	4
Vstupní rozsahy	450 V, 250 V, 110 V, 65 V (RMS)
Šířka pásma	45 Hz až 2,5 kHz
Vstupní impedance	200 kOhm, 10 pF
Izolační pevnost	4,2 kV RMS, 50 Hz, 1 min
Přesnost	+/-0,1 %
Zapojení	1-fázové, 3-fázové, 3-fázové + N, hvězda, trojúhelník a Aron
Proudové vstupy	
Počet vstupů	4
Vstupní rozsah	dle použitých proudových kleští
Šířka pásma	45 Hz až 2,5 kHz
Přesnost	+/-0,1 %
Normy	
Bezpečnost	ČSN EN 60950
EMC	ČSN EN 61000-6-2, ČSN EN 61000-4-2 až 6
Pro analýzu	ČSN EN 50160, ČSN EN 61000-4-7, ČSN EN 61000-4-15, ČSN EN 61000-4-30
Hardware	
Rozhraní	USB
A/D převodník	16 bitů
Vzorkovací frekvence	9600S/s, 19200S/s, 38400S/s
Napájení	180 až 265 V AC, 47 až 63 Hz
Příkon	10 VA

## 5.2 Model ENA400

Tento model je založený na výkonném průmyslovém PC ve skříni pro montáž do 19" rámu a až dvou externích jednotek úpravy signálu BK-SCM-01A. Jeden modul BK-SCM-01A upravuje až 16 analogových signálů a volitelně poskytuje až 64 digitálních vstupů, které jsou vzorkovány synchronně s analogovými vstupy. Moduly firmwaru mohou triggrovat a ukládat analogové vstupy současně s digitálními. Tento model je ideální pro trvalou instalaci na rozvodnách a pro monitoring několika 3-fázových soustav jediným přístrojem.

Analyzátor ENA400 vyhovuje požadavkům normy ČSN EN 61000-4-30 pro přístroj třídy A. [9]



Obrázek 11: Model ENA400

Tabulka 2: Technické parametry

Všeobecné parametry	
Intervaly ukládání	k*0,2 s/ 3 s/ k*1 min/ 10 min/ 15 min/ 2 h
Pracovní teplota	0 až +50 °C
Skladování	-30 až +80 °C
Rozměry	180 x 440 x 460 mm (v x š x h)
Hmotnost	17 kg
Napět'ové vstupy	
Počet vstupů	volitelně 1x4, 2x4, 3x4, 4x3
Vstupní rozsahy	60 V, 120 V (RMS) přes modul BK-SCM-01A
Šířka pásma	45 Hz až 2,5 kHz
Elektrická pevnost	1 kV kontinuální
Vstupní impedance	250 kOhm, 10 pF
Izolační pevnost	4,2 kV RMS, 50 Hz, 1min
Přesnost	+/-0,1 %
Zapojení	1-fázové, 3-fázové, 3-fázové + N, hvězda, trojúhelník a Aron
Proudové vstupy	
Počet vstupů	volitelně 1x4, 2x4, 3x4, 4x3
Vstupní rozsahy	1 A, 5 A přes modul BK-SCM-01A nebo dle použitých proudových kleští
Normy	
Bezpečnost	ČSN EN 60950

EMC	ČSN EN 61000-6-2, ČSN EN 61000-4-2 až 6
Pro analýzu	ČSN EN 50160, ČSN EN 61000-4-7, ČSN EN 61000-4-15, ČSN EN 61000-4-30
<b>Hardware</b>	
Operační paměť	512 MB RAM
Procesor	Intel® Pentium® 4 (2 GHz)
HDD	40 GB
Displej	Volitelný, připojitelný přes VGA rozhraní
Rozhraní	VGA, USB, 2x RS232, 2x Ethernet
A/D převodník	16 bitů
Vzorkovací frekvence	9600S/s, 19200S/s, 38400S/s
Napájení	180 až 265 V AC, 47 až 63 Hz nebo volitelně 24 V DC
Příkon	120 VA

### 5.3 Model PNA571

Tento model je ideální pro měření v terénu díky extrémní mechanické odolnosti a umístění v odolném plastovém kufříku. Je vybaven bateriovým napájecím zdrojem s UPS funkcí, včetně externího AC adaptéru a dvou "Hot-swap" baterií pro přibližně 2 hodiny provozu. Vestavěná dotyková obrazovka umožňuje jednoduché ovládání. Konfiguraci můžeme provést na dálku prostřednictvím Ethernetu s využitím notebooku. S modelem PNA571 můžeme monitorovat čtyři napěťové a čtyři proudové kanály s možností použití přímého proudového vstupu nebo proudových kleští. [9]



Obrázek 12: Model PNA571

Tabulka 3: Technické parametry

Všeobecné parametry	
Intervaly ukládání	k*0,2 s/ 3 s/ k*1 min/ 10 min/ 15 min/ 2 h
Pracovní teplota	0 až +50 °C

Skladování	-20 až +60 °C
Relativní vlhkost	10 až 90 %, bez kondenzace
Rozměry	150 x 360 x 300 mm (v x š x h)
Hmotnost	5 kg
<b>Napět'ové vstupy</b>	
Počet vstupů	4
Vstupní rozsahy L1 – L3	50 V, 100 V, 300 V, 600 V
Vstupní rozsahy N	5 V, 10 V, 50 V, 100 V
Šířka pásma	10 Hz až 3 kHz
Vstupní Impedance	1 MOhm
Izolační pevnost	6 kV RMS, 50 Hz, 1 min
Přesnost	+/-0,1 %
Zapojení	1-fázové, 3-fázové, 3-fázové + N, hvězda, trojúhelník a Aron
<b>Proudové vstupy</b>	
Počet vstupů	4
Vstupní rozsahy	Dle použitých proudových kleští
Přímý vstup	0 až 5 A AC
Šířka pásma	10 Hz až 3 kHz
Přesnost	+/-0,5 %
<b>Normy</b>	
Bezpečnost	IEC 61010-1, pracovní napětí 600 V AC RMS, CAT III
EMC	EN 50082-2 průmyslová norma
Pro analýzu	ČSN EN 50160, ČSN EN 61000-4-7, ČSN EN 61000-4-15, ČSN EN 61000-4-30
<b>Hardware</b>	
Operační paměť	1024 MB RAM
Procesor	Core2Duo 2 GHz
HDD	32 GB Flash HDD
Displej	10" TFT dotykový display 1024 x 768
Rozhraní	2x USB, Ethernet, RS232
A/D převodník	16 bitů
Vzorkovací frekvence	9600S/s, 19200S/s, 38400S/s
Napájení	2x baterie + externí zdroj 100-240 V AC

## 5.4 Model ENA520

Tento přístroj je určený hlavně pro měření na DC/AC měničích ve fotovoltaických elektrárnách. Můžeme ho využít také na měření AC/DC měničích, které jsou součástí pohonů v papírnách, válcovnách nebo gumárnách. Hlavními funkcemi přístroje je měření napětí, proudů, výkonů a účinnosti, u střídavých veličin se poté vyhodnocují navíc THD, PF, cos  $\phi$  a harmonické napětí, proudů a výkonů do 9 kHz dle ČSN EN 61000-4-7. ENA520 má na střídavé i stejnosměrné straně 3 napět'ové vstupy s rozsahem 600 Vrms nebo 1000 V DC a 3 proudové vstupy s rozsahem do 3000 A s externími proudovými senzory v podobě proudových kleští nebo rogowského cívek, které se dodávají jako příslušenství. Přístroj je také vybaven

vstupy pro externí čidla teploty, relativní vlhkosti a slunečního záření, pro účely měření na fotovoltaických elektrárnách. Mezi důležité vlastnosti přístroje patří galvanické oddělení tří napěťových vstupů a galvanické oddělení tří přímých proudových vstupů s antialiasing filtry. [9]



Obrázek 13: Model ENA520

Tabulka 4: Technické parametry

Všeobecné parametry	
Pracovní teplota	-20 až +50 °C
Rozměry	145 x 370 x 310 mm (v x š x h)
Hmotnost	4 kg
Krytí	IP54
Napěťové vstupy	
Počet vstupů	3AC + 3DC
Vstupní rozsahy	AC: 400 V DC: 1000 V
Izolační pevnost	AC: 4,2 kV RMS, 5 s DC: 4 kV DC, 5 s
Proudové vstupy	
Počet vstupů	3AC + 3DC
Vstupní rozsahy	AC: podle připojených proudových kleští DC: přímo, podle použitého modulu
Izolační pevnost	Podle proudových kleští
Normy	
Bezpečnost	EN 61010-1:2004
EMC	IEC 61000-6-2, IEC 61000-4-2 až 6
Analýza	EN 50160, EN 61000-4-7, EN 61000-4-15, EN 61000-4-30
Hardware	
Procesor	PowerPC 400 MHz
Úložiště	1 GB CF
Operační systém	VxWorks
Rozhraní	Ethernet
Displej	Grafický dotykový

A/D převodník	16 bitů
Vzorkovací frekvence	25000S/s
Napájení	180 až 265 V AC, 47-63 Hz
Příkon	Max 20 VA

## 5.5 Třídy měřicích přístrojů

Norma ČSN EN 61000-4-30 Metody měření kvality energie nám definuje měření parametrů kvality dodávané elektrické energie. Tato norma se zabývá vlastnostmi přístrojů třídy A, třídy B a třídy S z pohledu použití metody měření pro měření parametrů kvality elektrické energie a definicí jejich nejistot, nedefinuje konkrétní limity sledovaných veličin. [11]

### Třída A

Tato třída se používá tam, kde jsou zapotřebí přesná měření, například pro smluvní aplikace, ověření souladu s normami, atd. Jakákoliv měření parametru provedených se dvěma různými přístroji v souladu s požadavky třídy A budou při měření stejných signálů, vytvářet odpovídající výsledky v mezích nejistoty pro daný parametr. [11]

### Třída B

Třída B se nesmí být použita pro nové přístroje. Pro starší přístroje, které jsou stále v provozu, norma platí. Třída B může být odstraněna v příštím vydání této normy. [11]

### Třída S

Tato třída se používá pro statistické průzkumy a posuzování kvality elektrické energie. Jsou zde používány ekvivalentní intervaly jako pro měření třídy A, ale požadavky na zpracování třídy S jsou mnohem nižší. Některé průzkumy mohou posoudit parametry kvality elektrické energie některých měřicích míst v síti, jiné průzkumy posuzují parametry kvality elektrické energie na jednom místě po určitou dobu, nebo na místech uvnitř budovy. [11]

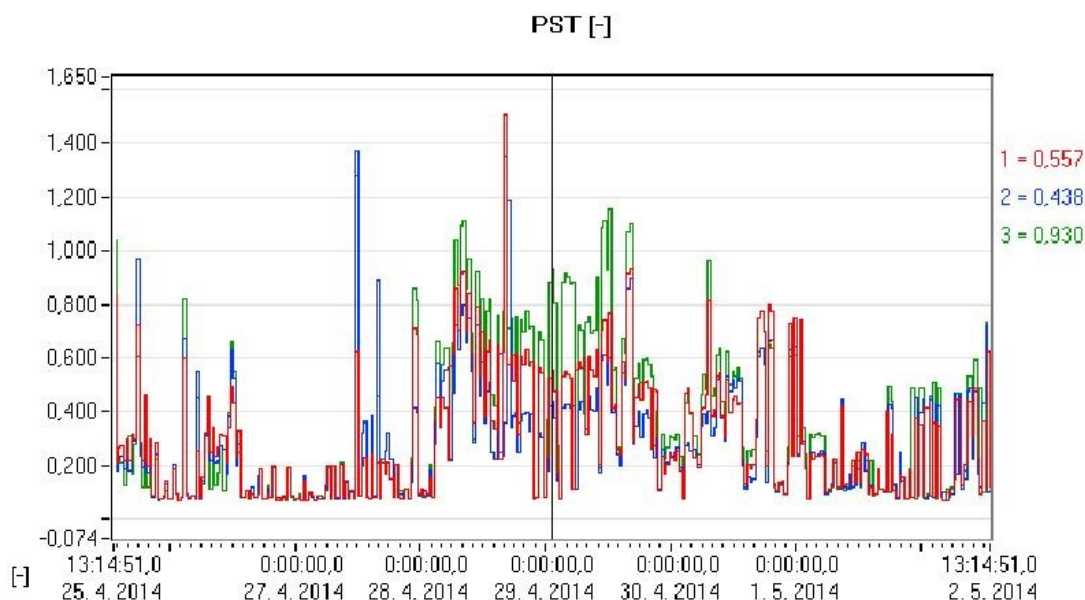
## 6 Ukázka vyhodnocení vybraných parametrů kvality dle ČSN EN 50 160

K správnému vyhodnocení dat je zapotřebí správné měření, zpracování a nakonec vyhodnocení. Z naměřených údajů jsem zvolil jednotýdenní interval pro vyhodnocení dat dle normy ČSN EN 50160. Monitorování sítě probíhalo v jedné oblasti ČR na čtyřech místech na napěťových hladinách nn a vn.

Naměřená data byly zpracovány v programu BK-report, který je dostupný spolu se síťovým analyzátelem. Díky charakteru dat je výhodné využít tabulkový procesor (MS Excel).

### 6.1 Měřicí místo 1, napěťová hladina nn

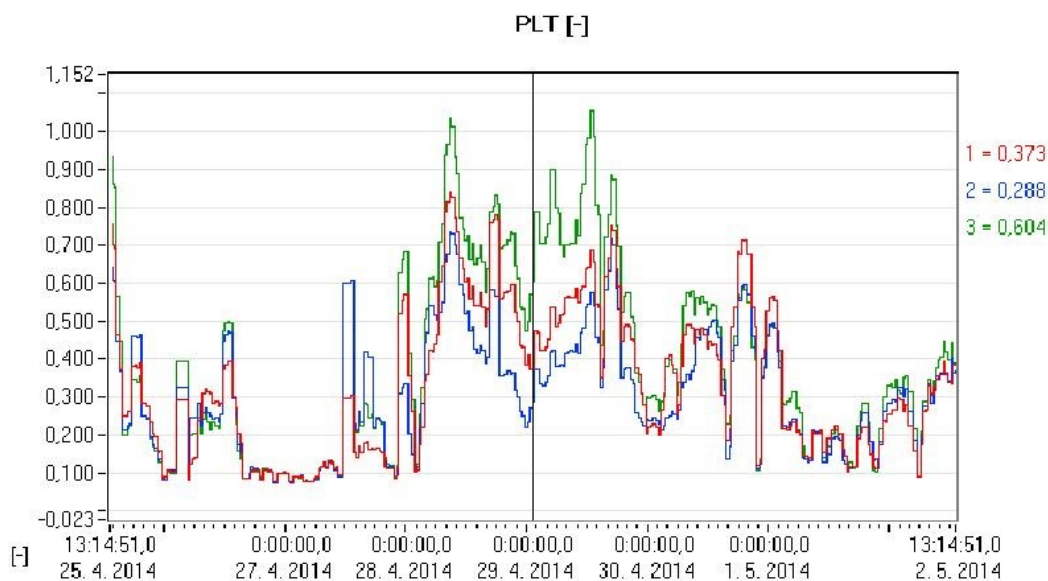
Krátkodobá míra flikru Pst:



Obrázek 14: Krátkodobá míra flikru Pst v měřicím místě 1

Flikr dosáhl maximální hodnoty 1,51 a 95% hodnoty flikru v jednotlivých fázích byly A=0,72; B=0,61 a C=0,89.

Dlouhodobá míra flikru Plt:

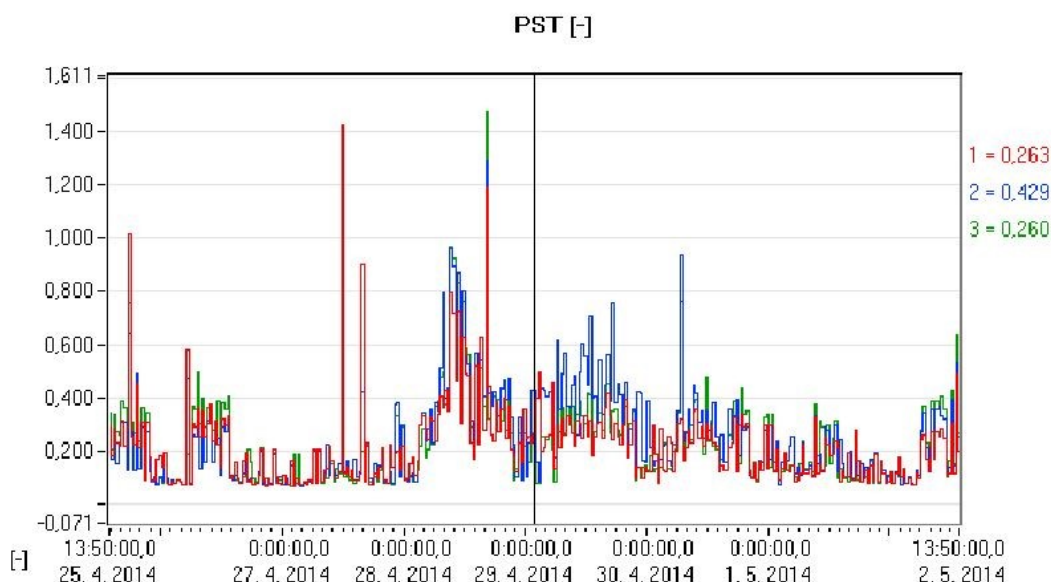


Obrázek 15: Dlouhodobá míra flikru Plt v měřicím místě 1

Za normálních pracovních podmínek musí být po dobu 95% času, v libovolném týdenním intervalu dlouhodobá míra vjemu flikru  $Plt < 1$ . Hodnocená oblast splnila předepsané hodnoty pro dlouhodobou míru vjemu flikru. Flikr dosáhl maximální hodnoty 1,05 a 95% hodnoty flikru v jednotlivých fázích byly  $A=0,71$ ;  $B=0,60$  a  $C=0,86$ .

## 6.2 Měřicí místo 2, napěťová hladina nn

Krátkodobá míra flikru Pst:

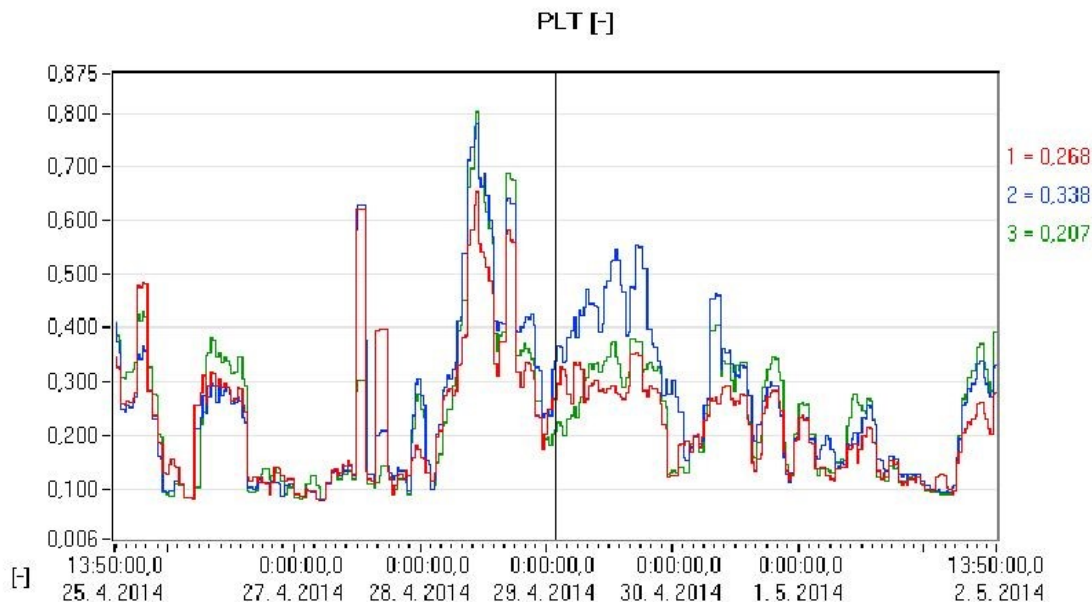


Obrázek 16: Krátkodobá míra flikru Pst v měřicím místě 2



Flikr dosáhl maximální hodnoty 1,47 a 95% hodnoty flikru v jednotlivých fázích byly A=0,39; B=0,53 a C=0,43.

Dlouhodobá míra flikru Plt:

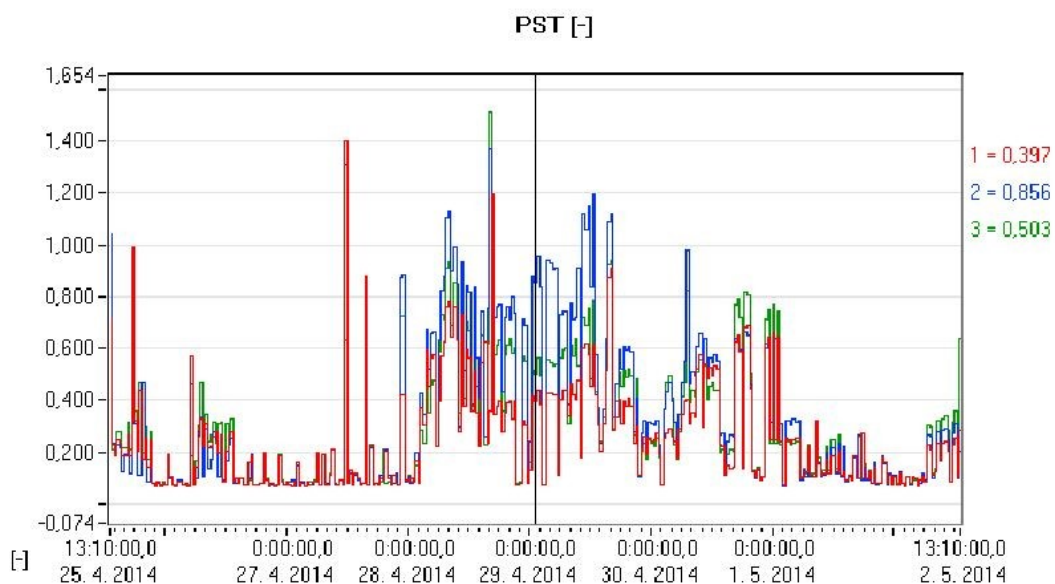


*Obrázek 17: Dlouhodobá míra flikru Plt v měřicím místě 2*

Za běžných pracovních podmínek musí být po dobu 95% času, v libovolném týdenním intervalu dlouhodobá míra vjemu flikru  $Plt < 1$ . Hodnocená oblast splnila předepsané hodnoty pro dlouhodobou míru vjemu flikru. Flikr dosáhl maximální hodnoty 0,80 a 95% hodnoty flikru v jednotlivých fázích byly A=0,49; B=0,61 a C=0,43.

### 6.3 Měřicí místo 3, napěťová hladina vn

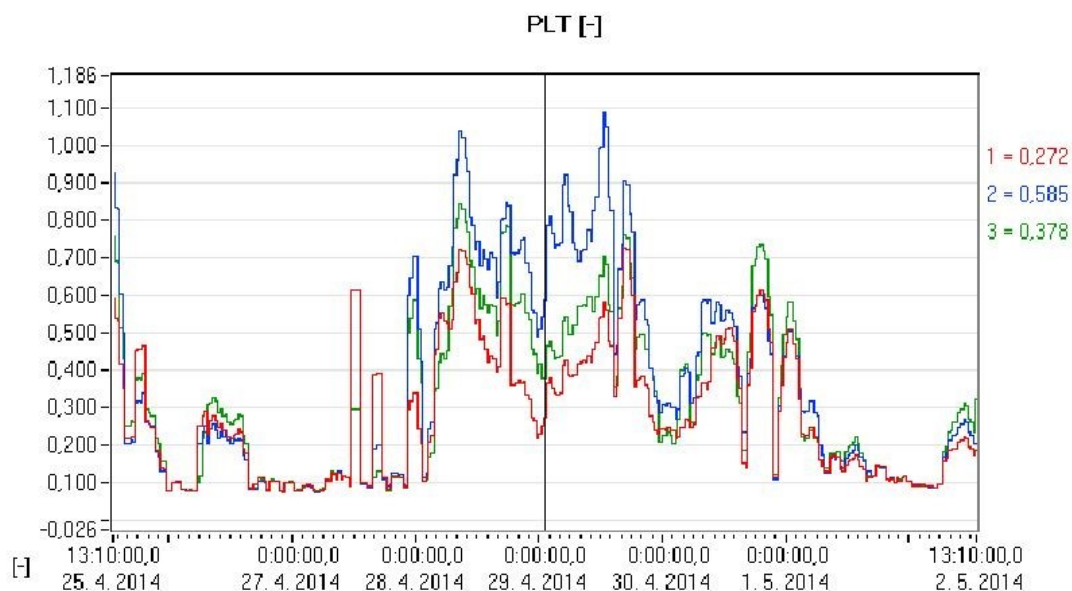
Krátkodobá míra flikru Pst:



Obrázek 18: Krátkodobá míra flikru Pst v měřicím místě 3

Flikr dosáhl maximální hodnoty 1,51 a 95% hodnoty flikru v jednotlivých fázích byly A=0,62; B=0,91 a C=0,73.

Dlouhodobá míra flikru Plt:



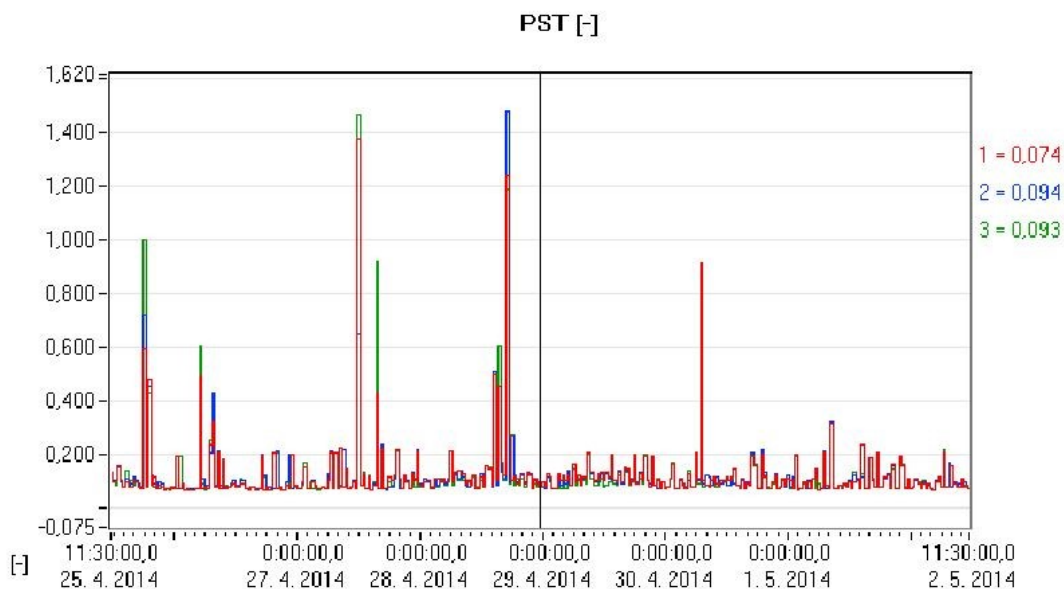
Obrázek 19: Dlouhodobá míra flikru Plt v měřicím místě 3

Za běžných provozních podmínek musí být po dobu 95% času, v libovolném týdenním intervalu dlouhodobá míra vjemu flikru  $Plt < 1$ . Hodnocená oblast splnila předepsané hodnoty

pro dlouhodobou míru vjemu flikru. Flikr dosáhl maximální hodnoty 1,08 a 95% hodnoty flikru v jednotlivých fázích byly A=0,60; B=0,87 a C=0,72.

## 6.4 Měřicí místo 4, napěťová hladina vn

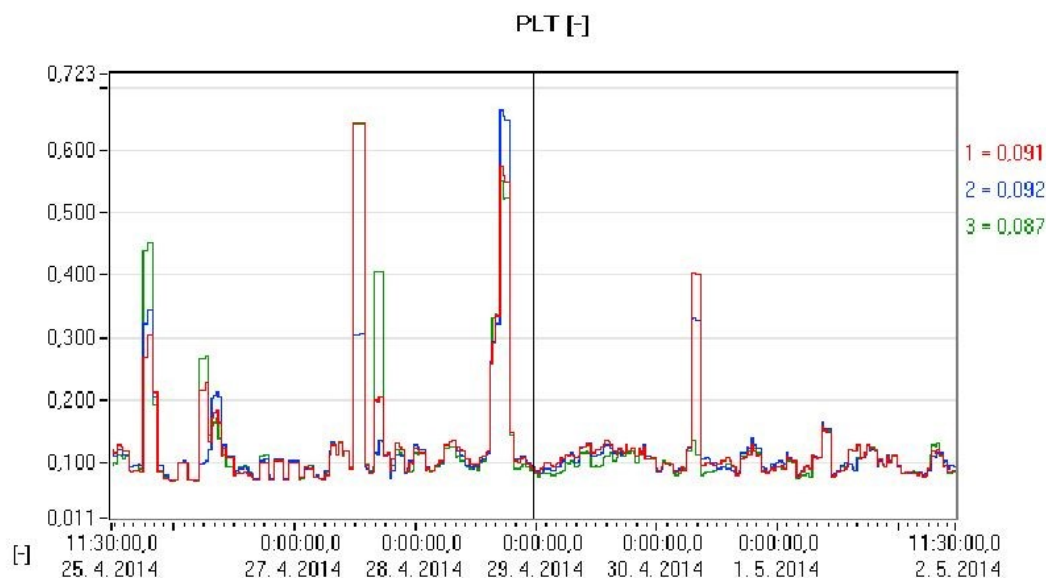
Krátkodobá míra flikru Pst:



Obrázek 20: Krátkodobá míra flikru Pst v měřicím místě 4

Flikr dosáhl maximální hodnoty 1,48 a 95% hodnoty flikru v jednotlivých fázích byly A=0,19; B=0,17 a C=0,18.

Dlouhodobá míra flikru Plt:

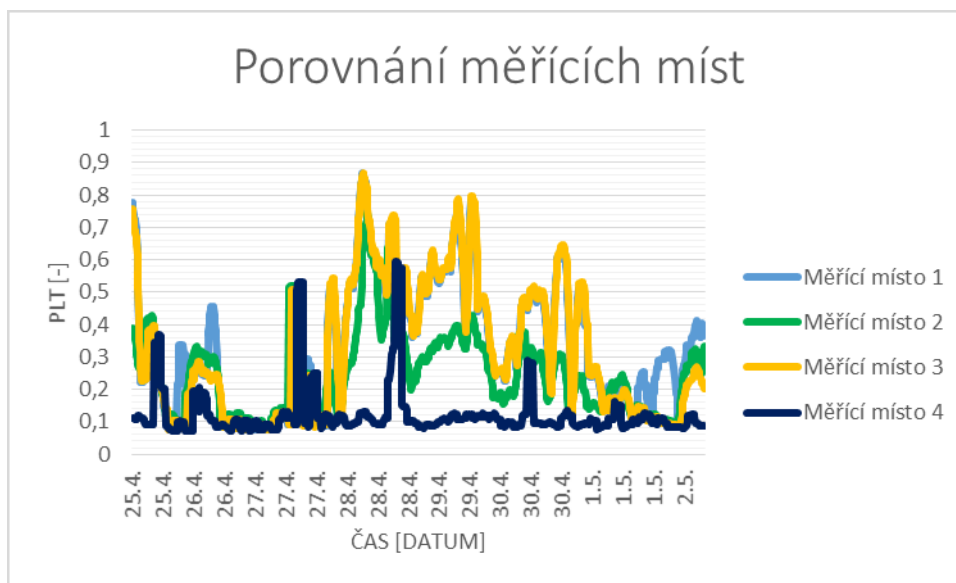


Obrázek 21: Dlouhodobá míra flikru Plt v měřicím místě 4

Za normálních provozních podmínek musí být po dobu 95% času, v libovolném týdenním intervalu dlouhodobá míra vjemu flickru  $Plt < 1$ . Hodnocená oblast splnila předepsané hodnoty pro dlouhodobou míru vjemu flickru. Flicker dosáhl maximální hodnoty 0,66 a 95% hodnoty flickru v jednotlivých fázích byly  $A=0,27$ ;  $B=0,31$  a  $C=0,34$ .

## 6.5 Vyhodnocení měřících míst

Srovnání průměrných hodnot tří fází ve čtyřech měřících místech:



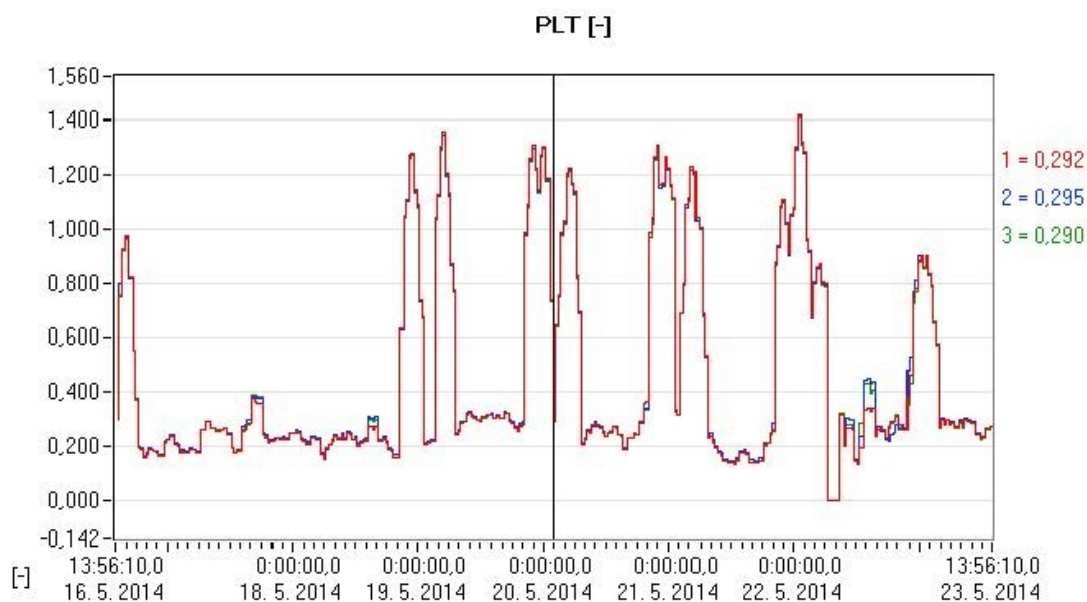
Obrázek 22: Srovnání měřících míst

Vyhodnocení 95% hodnot:

*Tabulka 5: Míra vjemu flikru*

Míra vjemu flikru					
Měřicí místo	Fáze	95% hodnoty Pst	Norma ČSN EN 50 160	95% hodnoty Plt	Norma ČSN EN 50 160
1	A	0,72	-	0,71	vyhovuje
	B	0,61	-	0,60	vyhovuje
	C	0,89	-	0,86	vyhovuje
2	A	0,39	-	0,49	vyhovuje
	B	0,53	-	0,61	vyhovuje
	C	0,43	-	0,43	vyhovuje
3	A	0,62	-	0,60	vyhovuje
	B	0,91	-	0,87	vyhovuje
	C	0,73	-	0,72	vyhovuje
4	A	0,19	-	0,27	vyhovuje
	B	0,17	-	0,31	vyhovuje
	C	0,18	-	0,34	vyhovuje
* Plt je kompatibilní úroveň 1					

Ukázka místa, kde nevyhovuje 95% hodnota:



*Obrázek 23: Nevyhovující 95% hodnota Plt*

Za normálních provozních podmínek musí být po dobu 95% času, v libovolném týdenním intervalu dlouhodobá míra vjemu flikru  $Plt < 1$ . Hodnocená oblast **nesplnila** předepsané hodnoty pro dlouhodobou míru vjemu flikru. Flikr dosáhl maximální hodnoty 1,42 a 95% hodnoty flikru v jednotlivých fázích byly A=1,22; B=1,22 a C=1,21.

## 7 Závěr

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou energetického rušení a kvalitou elektrické energie spolu s vyhodnocením vybraného parametru distribuční sítě dle norem ČSN EN 50160.

V první kapitole je rozebrána problematika energetického rušení. Energetické rušení je všude kolem nás a myslím si, že bude mít v budoucnu ještě větší vliv nejen na elektrické zařízení, ale dost možná taky na naše zdraví, a proto je hodně důležité mu dobře porozumět.

Druhá kapitola se zabývá elektromagnetickou kompatibilitou, zkoumá vzájemné působení různých systémů, protože aby mohlo každé elektrické zařízení správně fungovat, tak musí být elektromagneticky slučitelné s okolním prostředím.

Třetí kapitola je zaměřena na rozbor problematiky kvality elektrické energie, jsou to: kmity sítě, velikost napájecího napětí, odchylky napájecího napětí, rychlé změny napětí - flikr, poklesy napájecího napětí, krátkodobé a dlouhodobé přerušení napájecího napětí, přepětí, nesymetrie napájecího napětí, harmonické napětí, meziharmonická napětí.

V další kapitole jsem se věnoval možnostem monitorování kvality elektrické energie. Analyzátoři sítě jsou skvělým zařízením pro potřeby monitorování kvality elektrické energie využívající moderní softwarové a hardwarové technologie za přijatelnou cenu.

Poslední kapitola se zabývá analýzou naměřených dat a jejich vyhodnocením v programu BK-report a pomocí tabulkového procesoru (Microsoft Excel), podle normy ČSN EN 50160 ed. 3. Měřeny byly hladiny napětí nn a vn v lokalitě Hranice. Hodnocena byla dlouhodobá a krátkodobá míra vjemu flikru. Měřený úsek vyhověl normativním parametrům. Dlouhodobá míra vjemu flikru nepřesáhla maximální přípustnou hodnotu  $< 1$  v žádném měřicím místě.

## Použitá literatura

- [1] DOLNÍK, Bystrík. Elektromagnetická kompatibilita. Elfa, Košice, 2013. ISBN 978-80-8086-221-3
- [2] ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA Prof. Ing. Pavel SANTARIUS, CSc.
- [3] <https://home.pilsfree.net/fantom/FEL/MR/-kvalitaE-flickr.pdf>
- [4] SVACINA, Jiří. Elektromagnetická kompatibilita: principy a poznámky. Vyd. 1. Brno: Vysoké učení technické, 2001. Připojujeme se k Evropské unii. ISBN 80-214-1873-7.
- [5] VACULÍKOVÁ, Polina a Emil VACULÍK. Elektromagnetická kompatibilita elektrotechnických systémů: praktický průvodce techniky omezení elektromagnetického vř rušení: ČSN-ČSN EN-ČSN IEC-ČSN CISPR-ČSN ETS. Vyd. 1. Praha: Grada, 1998. ISBN 80-7169-568-8.
- [6] KOVÁČ, Dobroslav, Irena KOVÁČOVÁ a Ján KAŇUCH. EMC z hlediska teorie a aplikace. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006. ISBN 80-7300-202-7.
- [7] ČSN EN 50160, Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejných distribučních sítí.
- [8] TESAŘOVÁ, Miloslava a Milada ŠTROBLOVÁ. Průmyslová elektroenergetika. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-7082-703-3.
- [9] <http://www.elcom.cz/cz/technologie/merici-systemy/merici-systemy-pro-energetiku/pristroje>
- [10] <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/monitorovani-kvality-elektriny--11770>
- [11] ČSN EN 61000-4-30: Elektromagnetická kompatibilita (EMC), Část 4-30: Zkušební a měřicí technika - Metody měření kvality energie



## Seznam obrázků

<i>Obrázek 1: Základní řetězec EMC</i> .....	- 13 -
<i>Obrázek 2: Galvanická vazba</i> .....	- 15 -
<i>Obrázek 3: Kapacitní vazba</i> .....	- 15 -
<i>Obrázek 4: Induktivní vazba</i> .....	- 16 -
<i>Obrázek 5: Elektromagnetická vazba</i> .....	- 16 -
<i>Obrázek 6: Změna světelného toku způsobená změnou napětí</i> .....	- 19 -
<i>Obrázek 7: Pokles a přerušení napětí</i> .....	- 20 -
<i>Obrázek 8: Dočasné přepětí s dobou trvání <math>t</math></i> .....	- 21 -
<i>Obrázek 9: Harmonická napětí</i> .....	- 23 -
<i>Obrázek 10: Model ENA300</i> .....	- 25 -
<i>Obrázek 11: Model ENA400</i> .....	- 26 -
<i>Obrázek 12: Model PNA571</i> .....	- 27 -
<i>Obrázek 13: Model ENA520</i> .....	- 29 -
<i>Obrázek 14: Krátkodobá míra flikru <math>P_{st}</math> v měřicím místě 1</i> .....	- 31 -
<i>Obrázek 15: Dlouhodobá míra flikru <math>Plt</math> v měřicím místě 1</i> .....	- 32 -
<i>Obrázek 16: Krátkodobá míra flikru <math>P_{st}</math> v měřicím místě 2</i> .....	- 32 -
<i>Obrázek 17: Dlouhodobá míra flikru <math>Plt</math> v měřicím místě 2</i> .....	- 33 -
<i>Obrázek 18: Krátkodobá míra flikru <math>P_{st}</math> v měřicím místě 3</i> .....	- 34 -
<i>Obrázek 19: Dlouhodobá míra flikru <math>Plt</math> v měřicím místě 3</i> .....	- 34 -
<i>Obrázek 20: Krátkodobá míra flikru <math>P_{st}</math> v měřicím místě 4</i> .....	- 35 -
<i>Obrázek 21: Dlouhodobá míra flikru <math>Plt</math> v měřicím místě 4</i> .....	- 35 -
<i>Obrázek 22: Srovnání měřicích míst</i> .....	- 36 -
<i>Obrázek 23: Nevyhovující 95% hodnota <math>Plt</math></i> .....	- 38 -